

Digitale holografische 3D-Displays

Bei den bekannten und inzwischen auch technisch genutzten Hologrammen handelt es sich im Prinzip wie bei der klassischen Fotografie um fest stehende Aufnahmen, die hier jedoch bei geeigneter Beleuchtung dreidimensionale Abbilder der aufgenommenen Gegenstände wiedergeben. Daneben werden heute monitorartige Displays erforscht, bei denen computergesteuert und nahezu in Echtzeit auch wechselnde dreidimensionale Bilder erzeugt werden können. Solche digitalen holografischen 3D-Displays basieren ebenfalls auf dem physikalischen Prinzip der Beugung von Lichtwellen. Dabei lenken ihre Pixel die einfallenden Lichtwellen einer Beleuchtung so ab, als wenn sie direkt von den dargestellten Objekten reflektiert worden wären.

Allgemein lassen sich Hologramme technisch auf verschiedene Arten umsetzen. Bei der klassischen analogen Holografie sind Hologramme mikroskopische Muster in speziellen Filmen, die darin durch Belichtung mit Laserstrahlung erzeugt wurden. Entsprechende Muster lassen sich auch in Folien prägen, wie man sie von Sicherheitsmerkmalen z. B. auf Geldscheinen oder Ausweisen kennt. Bei digitalen holografischen 3D-Displays werden Systeme eingesetzt, mit denen sich computergesteuert beliebige Hologramme erzeugen lassen, um wechselnde holografische Bilder oder auch Videos darzustellen. Die zur Beugung der Lichtwellen benötigten Muster werden dabei üblicherweise mit Hilfe geeigneter Pixel umgesetzt, die beispielsweise veränderbare Lichtdurchlässigkeiten, Reflektivitäten oder Brechungsindices besitzen.

Solche auch Holo-Displays genannten Systeme zeigen für jede mögliche Betrachtungsrichtung die entsprechende Perspektive. Demzufolge wird zur räumlichen Wahrnehmung auch kein optisches Hilfsmittel, wie z. B. eine 3D-Brille, benötigt, weil die beiden Augen des Betrachters automatisch zwei verschiedene Perspektiven geboten bekommen. Der Betrachter kann seine Augen außerdem auf beliebige Punkte des holografischen Bildes ausrichten und scharfstellen. Dies ist z. B. bei den heute

zunehmend Verbreitung findenden stereoskopischen 3D-Displays nicht möglich, weil dort die Schärfenebene auf dem Display liegt, obwohl Objekte auch davor oder dahinter dargestellt werden. Die aus diesem Konflikt bei vielen Nutzern resultierenden Beschwerden oder Ermüdungserscheinungen würden folglich bei holografischen Displays nicht eintreten.

Die meisten Ansätze für Holo-Displays beruhen auf sogenannten Spatial Light Modulators (SLM). Dabei handelt es sich in der Regel um Chips mit rasterförmig angeordneten, elektronisch ansteuerbaren Pixeln. Am häufigsten werden sogenannte Flüssigkristall-SLM verwendet, die ursprünglich als die bildgebenden Elemente in Videoprojektoren entwickelt wurden. Zur Wiedergabe von mehrfarbigen holografischen Bildern gibt es im Wesentlichen zwei Ansätze. Lässt der verwendete SLM eine ausreichend hohe Bildwiederholfrequenz zu, dann können Hologramme für die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau nacheinander auf demselben SLM dargestellt und jeweils mit einer entsprechenden Lichtquelle beleuchtet werden. Der Betrachter nimmt das holografische Bild dann mehrfarbig wahr. Im zweiten Ansatz werden für jede Grundfarbe separate SLM verwendet. Das von den drei SLM gebeugte Licht wird dann mit Hilfe optischer Komponenten räumlich zu einem mehrfarbigen Bild überlagert.

Im Gegensatz zur analogen Holografie müssen bei Holo-Displays basierend auf SLM die holografischen Bilder mit ausreichend hoher Bildwiederholfrequenz immer wieder neu erzeugt werden, um für den Betrachter permanent sichtbar zu bleiben. Einen anderen Ansatz stellen Holo-Displays basierend auf sogenannten photorefraktiven Polymeren dar, die die benötigten Muster längere Zeit speichern können, sich aber löschen und neu beschreiben lassen. Die Muster werden mit Laserlicht Punkt für Punkt in die Polymerschicht geschrieben und bleiben bis zu mehreren Stunden mit Laser- oder LED-Licht auslesbar. Eine Farbwiedergabe ist möglich, indem für jede der drei Grundfarben unter verschiedenen

Winkeln ein entsprechendes Hologramm erzeugt wird. Bei ausreichend geringer Schreibdauer wären durch eine schnelle Abfolge von Schreiben, Wiedergabe und Löschen prinzipiell auch mit photorefraktiven Polymeren Holo-Displays zur Darstellung bewegter holografischer Bilder denkbar.

Es gibt heute noch keine praktikablen digitalen holografischen 3D-Displays, die bewegte holografische Bilder in brauchbarer Größe und Auflösung, mit realistischer Farbwiedergabe, hohem Kontrast und großem Betrachtungswinkel darstellen könnten. Die wesentlichsten Herausforderungen bei der Entwicklung sind auf die Größe und die Anzahl der Pixel zurückzuführen. So gilt z. B. der Zusammenhang, dass der mögliche Betrachtungswinkel eines Holo-Displays umso größer ist, je kleiner dessen Pixel sind. Heute typisch sind SLM mit Pixelgrößen von etwa 8 μm , womit ein Holo-Display nur aus einem schmalen Bereich von etwa 4 Grad betrachtet werden kann. Brauchbar wären beispielsweise 60 Grad – dafür bräuchte man aber Pixel, die mehr als zehnfach kleiner wären als heute kommerziell verfügbar. Die größere Herausforderung ist jedoch die Pixelanzahl. Denn es gilt, dass ein holografisches Bild maximal so groß ist wie das Hologramm selbst. Wenn man also Bilder mit brauchbarer Größe erzeugen möchte, z. B. so groß wie ein Computerbildschirm, und dies mit einem brauchbaren Betrachtungswinkel, wozu man sehr kleine Pixel benötigt, dann benötigt man für ein solches Holo-Display über 100 Milliarden Pixel. Heute typisch und erhältlich sind aber nur SLM mit ein paar Millionen Pixeln. Diese Hürde ist technisch nicht ohne Weiteres zu bewältigen. Ein zusätzliches Problem wäre der hohe Rechenaufwand, den man dann betreiben müsste, um die Inhalte für so viele Pixel zu liefern bzw. solche Datenmengen zu übertragen und zu speichern. Langfristig betrachtet werden diese Probleme irgendwann technisch lösbar sein. In den nächsten zehn Jahren ist nach Einschätzung vieler Fachleute aber nicht mit brauchbaren Holo-Displays zu rechnen.

Dr. David Offenber